数字人民币破解小微企业“融资难”问题理论探索

——基于演化博弈和仿真研究

王彦嵩[1] 许韬[2]

南京财经大学 金融学院[1] 国际经贸学院[2]

摘要

“十四五”规划下，破解小微企业融资难问题是落实“六保”、“六稳”的重要条件。数字人民币，以其普惠性和可得性，具备改善小微企业融资状况的能力。研究设计小微企业和商业银行的博弈模型，分析小微企业、商业银行的使用数字人民币、施行优惠信贷的策略演化均衡，推解演化博弈函数的微分方程，得出稳定条件。研究发现考虑到数字人民币增量收入和央行补贴，小微企业选择使用数字人民币能减少信息错位造成的商业银行坏账风险，同时央行奖励机制传导至商业银行促进实施信贷优惠优化小微企业融资，实现博弈双方的超额收益，兼顾经营效益和金融安全。研究建议央行强化数字人民币的宣传，建立科学的流通监管体系，在扩大数字货币需求的同时，助力小微企业和商业银行的协同，以数字金融保障社会经济高质量发展。

关键词：数字人民币；小微企业；金融安全；演化博弈

王彦嵩，南京财经大学金融学院；许韬，南京财经大学国际经贸学院。

DCEP as a Cure for Credit Problems of Small-Micro Firms

Yan-Song Wang, and Tao Xu

Abstract

Under the 14th Five-Year Plan of China, it is the key for the implementation of quality economic development to solve the credit problems of small-micro firms. DCEP, with its universality and accessibility, has the ability to improve the financing situation of small-micro firms. Based on the game model of small-micro firms and commercial banks, the paper analyses the strategic equilibrium in using DCEP and providing preferential loans, and solves the differential equation of the evolutionary game function to derive the stability condition. The paper finds that considering the incremental earnings of DCEP and subsidies of PBC, small-micro firms choose to use DCEP, reducing the risk of bad debts of commercial banks caused by information misalignment, while the central bank incentives are transmitted to commercial banks, promoting the implementation of concessions to optimise small-micro firms' financing, achieving excess returns for both sides, balancing operational efficiency and financial security. The paper argues that the central bank should strengthen the publicity of DCEP, establish a scientific supervision system, and expand the demand for digital currency while helping to better the synergy of firms and banks, so as to ensure high-quality socio-economic development with digital finance.

Keywords Digital currency electronic payment, Small-micro firms, Financial security, Evolutionary game

Yan-Song Wang, School of Finance, Nanjing University of Finance & Economics, Nanjing, China. Tao Xu, School of International Economics & Trade, Nanjing University of Finance & Economics.

一、引言

在经济发展中，小微企业发挥“市场补缺者”作用，其专注市场“长尾”部分，避免同大企业竞争。在细分市场探索中，小微企业补缺行为帮助开拓新产业，对中国特色社会主义市场经济非常重要。但是，小微企业“融资难”问题日益突出，资本匮乏、财务管理孱弱，“贷不好款、理不好财”现象陪伴许多小微企业走过短暂的生命周期。较低的风险抵御能力和融资后严重的信息不对称使商业银行面临高违约风险，承贷滋生诸多不确定因素，商业银行不得不提高利率以防范损失。小微企业又由此资本紧缩、无法扩张，更难以正常还贷，恶性循环。简而言之，交易前的“逆向选择”及交易后的“道德风险”对银企双方都存在负面作用，小微企业不及时还贷，商业银行流动性管理罔被牵连；小微企业抵押、质押不能变现，保证、担保虚置或无效，商业银行损失无法弥补，只得以“高息揽储”等非正常手段维持经营，为“挤兑危机”埋下隐患。长此以往，一系列风险在金融系统中传导、加剧，具有点燃系统性风险的潜在可能。

小微企业是金融需求的“长尾”，必须有效利用，但信息错位下的道德风险和逆向选择使融资成为长期束缚小微企业的桎梏（王馨，2015；刘满凤和赵珑，2019）。关于小微企业融资难问题，不同学科、领域的专家学者基于不同主体给出了不同的解决方案，如调整担保模式（冯晓菲和张琳，2020）、调整贷款方式（巴曙松，2020）、减税降费（王伟同等，2020）、定向降准（孔东民等，2021）、银税互动（陈彪等，2021）等，而数字金融视阈下的方案局限在理论建设，缺乏有应用价值的路径（周光友等，2020；顾宁等，2021）。数字金融是破解小微企业“融资难”问题的关键，能改善小微企业的融资状况。数字金融以大数据进行需求甄别，利用互联网外部经济、规模经济填补融资缺口，而非法代币融资存在扰乱市场的风险，这要求保证“有为政府”在数字金融实践中的主导地位，利用政府职能以一系列合理方式解决。

央行数字货币，即中央银行发行的数字加密货币，是“有为政府”解决上述问题的重要手段。在改革开放及新世纪初期，新技术革命衍生的数字货币被认为在新的生产力条件下具有良好前景；但具体研究局限在定性问题，如是否该私有化、无现金化和去中心化（周晓寒，1988；胡秋灵和张成虎，2003）。“十三五”至“十四五”时期，无现金化在移动支付普及下基本实现；而私有化，也许在中国没有制度基础。换句话说，普惠金融建设必须有“有为政府”参与，反之是不可能真正“普惠”的。事实上，数字人民币一定程度上正是以制衡私人数字货币私有化为动机而研究的，不是盲目地去中心化，数字人民币也必然要有利于普惠金融的发展（巴曙松，2021；袁曾，2022）。国际清算银行支付委员会（CPMI）的一则报告认定央行数字货币三个关键特征，即电子的、非负债的和网络点对点交换的，和传统货币的物质形态、资产负债属性不同（周陈曦和曹军新，2017）；但在影响因素、控制方法上没有颠覆性改变，是可以被“有为政府”有效利用的。CPMI 也强调央行数字货币在货币政策和金融稳定上意义重大，具有作为破解小微企业融资难问题的工具的潜能，亟待中国特色实践经验的证明。数字人民币，作为中国的央行数字货币，是中国人民银行发行的具有中国特色的电子化人民币，作为零售型 CBDC，其发行的潜在目的是提供新的能兼顾保护和监管的货币政策工具，是数字

经济和数字货币发展的结果（何德旭和姚博，2019；彭绪庶，2020；伍旭川，2020；刘凯，2021；Sanches 和 Keister，2021）。数字人民币既是具有完整货币功能的法定主权货币，又是具有重要政策价值的信用货币，融合了 Wicksell、Schumpeter 以及 Friedmann 的理论。戚聿东和褚席（2019）补充，“中央银行-商业银行”双层运营的中心化管理体系有利于政府管理，中国人民银行以资格、利率和规模等管理工具确保其对银行系统和金融结构的冲击是可控的（彭绪庶，2020；姚前，2021）。专家学者从不同角度以不同方式佐证了以上论述，数字人民币作为宏观政策工具和微观融资工具，以信息透明优势，能真正以普惠金融帮助小微企业发展（杨延超，2020；刘东民，2021；巴曙松，2021）。易纲（2021）特别指出，私人部门的电子支付工具会引发市场分割风险；而数字人民币能以普惠性合理改善实体经济，有效赋能小微企业发展。

上述关于央行数字货币的理论建设主要强调其支付革新，聚焦于宏观经济，即发行数字人民币的货币政策工具效应，微观维度的应用分析却略显不足，如发行数字人民币对企业的影响机制还不够清晰。因此，本研究侧重数字人民币对小微企业的影响，运用演化博弈模型，探讨数字人民币发行和小微企业经营和监管的关系。本文第二部分进行机制分析，第三部分设计博弈模型，第四部分进行演化仿真，最后得出结论，总结全文。

二、理论基础和内在机制

(一) 数字人民币影响小微企业收入的基础：金融普惠

近年来，普惠金融发展呈现“增量、扩面”趋势。根据中国人民银行《中国数字人民币的研发进展白皮书》，数字人民币将发扬实物人民币和电子支付的优势。数字人民币的低成本、便捷性，具有普惠金融特征，能帮助小微企业提升效益。

和传统第三方支付相比较，数字人民币减少了小微企业兑出、兑回费用，可进一步降低服务手续费。同时，数字人民币使用者将依附于国家信用，更快捷地支付结算，以账户体系松耦合实现支付即结算，提升资金运用效率，节约成本；数字人民币具有兼容性，在银行和支付机构间互通互联，打破支付壁垒，拓宽交易渠道。

(二) 数字人民币影响小微企业成本的路径：工具变更

从传统第三方工具转向数字人民币时，小微企业的短期成本将被影响。由于传统货币在世界范围内极高的普及和覆盖，小微企业在区际或国际业务中使用数字人民币贷款，短期内不如传统货币便捷，需要时间适应、调整。这是由于数字人民币具有中国特色，其法定主权属性及其研发契合中国的法律框架，虽然具有一定的适应性，但其他国家或地区的企业无法立即接受这个新的形式。

因此，当数字人民币技术标准化不健全时，小微企业不得不面临短期成本上升。此外，企业内部对于支付和融资工具的变化，需要支付一定的转移成本。各个企业内部的成本相互影响、贯通，最终形成一种外部的、更高额的转移成本，该成本既包括对于数字人民币系统的学习成本和时间成本，又包括操作失误产生的财产损失。以延迟接受或拒绝接受为结果，以高额转换成本为过程，数字人民币虽然具有发展前景，但小微企业

使用也同时面临一定阻碍，需要付出一定代价。

(三) 数字人民币影响商业银行收益的优势：信息透明

由于小微企业融资困境和信息不对称的存在，在传统支付时代，银企双方难以形成信贷关系，而使用数字人民币能以信息透明降低小微企业融资难度。以往，商业银行在面对小微企业贷款时，面临较高的信用风险、操作风险、市场风险。根据“厂商信誉论”，由于非完全的信息，在不完全竞争市场上，价格的选择、激励效应令商业银行对利率倾向选择较高定价。因为“菜单成本”的存在，商业银行对资金的定价，即利率，具有黏性，在状态依存法则和时间依存法则的作用下，变化非常缓慢，不会轻易降价，且和价格相比，商业银行更愿意调整数量，包括就业量和产量。此外，考虑到对呆账、坏账的防范，商业银行的信贷策略趋于保守，造成小微企业融资难问题加剧。而“逆向选择”理论说明过于保守的利率对商业银行也是不利的，保守的策略反而会损害其风险管理。

上述市场不完全出清的状况，属于市场机制失灵的多重均衡态，为了经济的高质量发展，政府必须干预以确保市场的健康、可持续。数字人民币作为央行发行的新的能兼顾保护和监管的工具，能在货币政策和金融稳定方面发挥重大作用。其限制提现及资产转移，减小贷款实际操纵人贷后赌博、乱投资等潜在风险；作为加密货币不能被伪造，能让资金真正流向企业经营；在商业银行信息系统上，其透明的信息、高效的反馈，让操作有据可循，在降低金融交易复杂性的同时，兼顾成本的优化和隐私的保护，优势较大；在数字人民币持续探索应用模式创新的过程中，其支付的便捷性淡化汇率、利率或交易费用的影响，让发送方和接收方以同速率同步完成进程，规避利率及市场风险。因此，数字人民币能创造优惠信贷的条件，促成银企双方达成信贷关系，从而实现数字人民币的工具价值。

三、模型构建和策略分析

结合商业银行掌握贷后数字人民币用户信息和交易数据，构建数字经济背景下商业银行信贷策略和小微企业数字人民币选择的演化博弈模型，探究商业银行是否会选择信贷优惠，以及小微企业使用数字人民币能否改善效益。

(一) 基本假设

假设小微企业和商业银行两类群体随机配对进行博弈，小微企业和商业银行存在有限理性，在长期博弈中改变行为策略达到演化均衡。商业银行及小微企业在博弈中各有两种策略可供选择。商业银行可选择施行信贷优惠，即低利率，或不施行信贷优惠，即相对保守的利率；小微企业可选择使用或不使用数字人民币。

假设 1：小微企业使用数字人民币将产生额外收入，设为Δep。

假设 2：商业银行在施行信贷优惠（低利率）和小微企业使用数字人民币的同时，商业银行将产生额外收入，设为Δbp。

假设 3：小微企业使用数字人民币在短期增加企业成本。

假设 4：央行为促进数字人民币的实施，将发放数字人民币形式的补贴激励小微企

业使用数字人民币，设为s。

假设 5：央行为施行信贷优惠的商业银行提供以定向降准为代表的奖励，设为cr。

(二) 博弈策略描述

1. 小微企业策略

小微企业有传统方式支付和数字人民币支付两种选择。小微企业选择传统方式时一般收入设为ep，成本由于商业银行信贷策略而有所差异。施行信贷优惠时小微企业成本设为ce_3，不施行优惠信贷时小微企业成本设为ce_4。由于数字人民币不计提利息，考虑小微企业不使用数字人民币时资金产生活期存款利息设为i。若选择使用数字人民币，则产生额外收入设为Δep。成本根据商业银行策略而变化，施行信贷优惠时小微企业成本设为ce_1，不施行优惠信贷时小微企业成本设为ce_2。由于融资困境，非信贷优惠的额外成本高于信贷优惠的额外成本，即$ce_2 - ce_4 > ce_1 - ce_3$。同时，小微企业使用数字人民币收获央行补贴设为$s$。

2. 商业银行策略

商业银行有施行信贷优惠（低利率）和不施行信贷优惠（保守利率）两种选择。商业银行在不施行信贷优惠获得一般收益设为bp，成本设为cb。商业银行在施行信贷优惠（低利率）和小微企业使用数字人民币的同时，商业银行将产生额外收入设为Δbp。商业银行施行信贷优惠面临由于利率降低而产生额外成本设为Δcb。商业银行施行信贷优惠策略时，获得央行定向降准，降低再贴现率等奖励机制等政策收益设为cr。银企演化博弈模型的变量符号如表 1。

表 1 符号说明

符号	意义和说明
x	小微企业选择使用数字人民币概率为x，选择不使用概率为 $1-x$，$x \in [0,1]$
y	商业银行施行信贷优惠（低利率）概率为y，不施行概率为 $1-y$，$y \in [0,1]$
ep	小微企业选择传统方式支付时的一般收入
bp	商业银行在不施行信贷优惠时的一般收入
ce_1	商业银行施行信贷优惠时，小微企业使用数字人民币支付的成本
ce_2	商业银行不施行信贷优惠时，小微企业使用数字人民币支付的成本
ce_3	商业银行施行信贷优惠时，小微企业使用传统方式支付的成本
ce_4	商业银行不施行信贷优惠时，小微企业使用传统方式支付的成本
cb	商业银行不施行信贷优惠时的成本
s	央行激励小微企业使用数字人民币所发放的补贴
cr	商业银行施行信贷优惠时的政策收益
i	小微企业不使用数字人民币时的活期利息

注：根据相关经济学含义，假设上述各参数均大于 0。

综上所述，根据基本假设与银企行为的选择，进行博弈策略的演算，得到商业银行和小微企业在不同行为选择下的支付矩阵如表 2。

表 2 小微企业和商业银行决策及支付矩阵

		商业银行	
		信贷优惠（低利率）	信贷非优惠（保守利率）
小微企业	数字人民币支付	$ep+\Delta ep-ce_1+s,$ $bp+\Delta bp-cb-\Delta cb+cr$	$ep+\Delta ep-ce_2+s,$ $bp-cb$
	传统方式支付	$ep-ce_3+i,$ $bp-cb-\Delta cb+cr$	$ep-ce_4+i,$ $bp-cb$

(三) 演化稳定策略和均衡点分析

设小微企业选择使用数字人民币的概率为x，选择不使用的概率为$1-x$；商业银行施行信贷优惠的概率为y，不施行的概率为$1-y$。小微企业选择使用数字人民币的期望收益U_{C1}、选择不使用的期望收益U_{C2}及平均期望收益分别如下。

$$U_{C1}=y(ep+\Delta ep-ce_1+s)+(1-y)(ep+\Delta ep-ce_2+s) \tag{1}$$

$$U_{C2}=y(ep-ce_3+i)+(1-y)(ep-ce_4+i) \tag{2}$$

$$\overline{U}_c=xU_{C1}+(1-x)U_{C2} \tag{3}$$

同理，商业银行策略期望收益分别如下。

$$U_{d1}=x(bp+\Delta bp-cb-\Delta cb+cr)+(1-x)(bp-cb-\Delta cb+cr) \tag{4}$$

$$U_{d2}=x(bp-cb)+(1-x)\ (bp-cb) \tag{5}$$

$$\overline{U}_d=yU_{d1}+(1-y)U_{d2} \tag{6}$$

根据 Malthusian 复制动态原理，银企博弈策略选择的复制动态方程如下。

$$F(x)=\frac{dx}{dt}=x\left(U_{C1}-\overline{U}_c\right)=x(1-x)(U_{C1}-U_{C2})$$

$$=x(1-x)(-yce_1+yce_2+yce_3-yce_4+\Delta ep-ce_2+s+ce_4-i) \tag{7}$$

$$F(y)=\frac{dy}{dt}=y\left(U_{d1}-\overline{U}_d\right)=y(1-y)(U_{d1}-U_{d2})$$

$$=y(1-y)(x\Delta bp-\Delta cb+\ cr) \tag{8}$$

(7)和(8)组成的方程组为小微企业和商业银行非对称博弈的复制动态系统，揭示双方策略选择的概率随时间演化的趋势。令$F(x)=dx/dt=0$，$F(y)=dy/dt=0$，解得均衡点(0,0)、(0,1)、(1,0)、(1,1)、(X_n,Y_n)，$X_n=(\Delta cb-cr)/\Delta bp$，$Y_n=(\Delta ep-ce_2+s+ce_4-i)/(ce_1-ce_2-ce_3+ce_4)$。

而复制动态方程的均衡点不一定使系统稳定，按照 Friedman 方法，微分方程系统描述的群体动态演化稳定策略可从该系统的 Jacobin 矩阵的局部稳定分析得到，对复制动态方程组求导得矩阵(J)，计算解得均衡点取值如表 3。

$$J=\begin{vmatrix}\frac{\partial F(x)}{\partial x} & \frac{\partial F(x)}{\partial y}\\ \frac{\partial F(y)}{\partial x} & \frac{\partial F(Y)}{\partial y}\end{vmatrix}$$

$$=\begin{vmatrix}(1-2x)(-yce_1+yce_2+yce_3-yce_4+\Delta ep-ce_2+s+ce_4-i) & x(1-x)(-ce_1+ce_2+ce_3-ce_4)\\ y(1-y)\Delta bp & (1-2y)(x\Delta bp-\Delta cb+\ cr)\end{vmatrix} \tag{9}$$

表 3 均衡点的取值

均衡点	$\partial F(x)/\partial x$	$\partial F(x)/\partial y$	$\partial F(y)/\partial x$	$\partial F(Y)/\partial y$
(0,0)	$\Delta ep - ce_2 + ce_4 + s - i$	0	0	$-\Delta cb + cr$
(0,1)	$\Delta ep - ce_1 + ce_3 + s - i$	0	0	$\Delta cb - cr$
(1,0)	$-\Delta ep + ce_2 - ce_4 - s + i$	0	0	$\Delta bp - \Delta cb + cr$
(1,1)	$-\Delta ep + ce_1 - ce_3 - s + i$	0	0	$-\Delta bp + \Delta cb - cr$
(X_n, Y_n)	0	a	b	0

$a = [(\Delta cb - cr)/\Delta bp][1 - (\Delta cb - cr)/\Delta bp](-ce_1 + ce_2 + ce_3 - ce_4)$， $b = (\Delta ep - ce_2 + s + ce_4 - i)(ce_1 - ce_2 - ce_3 + ce_4)[1 - (\Delta ep - ce_2 + s + ce_4 - i)/(ce_1 - ce_2 - ce_3 + ce_4)]\Delta bp$ 。(X_n, Y_n)处$\partial F(x)/\partial x + \partial F(Y)/\partial y = 0$，矩阵迹小于 0，故不是演化均衡点。在$ce_2 - ce_4 > ce_1 - ce_3$条件下，不同稳定条件如表 4。

表 4 均衡点的稳定条件

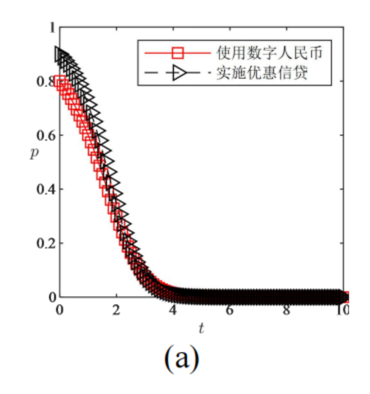
均衡点	稳定条件
(0,0)	$\Delta ep + s - i < ce_1 - ce_3, cr < \Delta cb$且$\Delta bp < \Delta cb - cr$ Or $\Delta ep + s - i < ce_1 - ce_3, cr < \Delta cb$且$\Delta bp > \Delta cb - cr$ Or $ce_1 - ce_3 < \Delta ep + s - i < ce_2 - ce_4, cr < \Delta cb$且$\Delta bp < \Delta cb - cr$
(0,1)	$\Delta ep + s - i < ce_1 - ce_3, cr > \Delta cb$且$\Delta bp > \Delta cb - cr$
(1,0)	$\Delta ep + s - i > ce_2 - ce_4, cr < \Delta cb$且$\Delta bp < \Delta cb - cr$
(1,1)	$\Delta ep + s - i > ce_2 - ce_4, cr > \Delta cb$且$\Delta bp > \Delta cb - cr$ $\Delta ep + s - i > ce_2 - ce_4, cr < \Delta cb$且$\Delta bp > \Delta cb - cr$ Or $ce_1 - ce_3 < \Delta ep + s - i < ce_2 - ce_4, cr > \Delta cb$且$\Delta bp > \Delta cb - cr$
(0,0)or(1,1)	$ce_1 - ce_3 < \Delta ep + s - i < ce_2 - ce_4, cr < \Delta cb$且$\Delta bp > \Delta cb - cr$

四、仿真结果

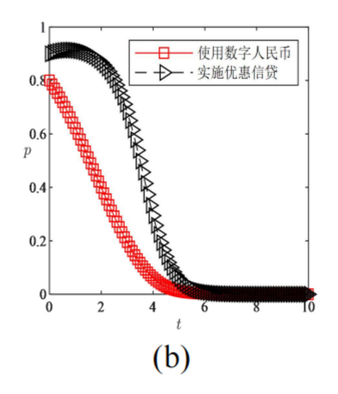
根据演化博弈模型，分析双方演化稳定策略（Evolutionarily Stable Strategy，ESS）出现的情形及影响双方决策的因素，应用演化博弈仿真呈现具体决策趋势，探讨稳定策略下双方策略选择的变化，得到(0,0)、(0,1)、(1,0)、(1,1)、(0,0)或(1,1)共五类均衡状况。

(一) (0,0)均衡状况分析

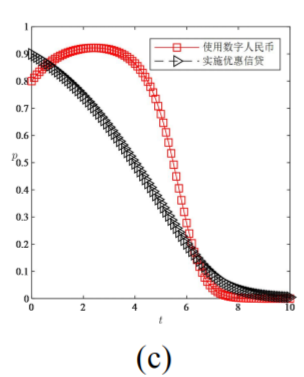
在(0,0)均衡点处，共有三种情形，如图 1 所示，此时(0, 0)为 ESS。选择不使用数字人民币和不施行信贷优惠策略成为小微企业与商业银行的主导选择。



(a)



(b)



(c)

图 1 均衡点为(0,0)时仿真情况

第一，当$\Delta ep+s-i<ce_1-ce_3, cr<\Delta cb$且$\Delta bp<\Delta cb-cr$时，假设$ce_1=8$，$ce_3=1$，$ce_2=10$，$ce_4=2$，$\Delta cb=5$，$\Delta bp=1$，$\Delta ep=4$，$cr=3$，$s=3$，$i=1$，$x=0.8$，$y=0.9$，则银企演化趋势如图一(a)所示。随着演化步长的增加，商业银行倾向不施行优惠信贷，小微企业不愿意使用数字人民币，这两种策略的概率最终都降为 0。在小微企业数字化交易意识淡薄、央行没有施行适当激励或惩罚措施和商业银行无法实现超额收益时，在重复博弈循环中，小微企业的转移成本、商业银行的菜单成本过高，在依存法则下价格黏性使利率难以降低，商业银行无法施行信贷优惠，小微企业也因路径依赖选择传统方式，而数字人民币持续性地被放弃使用，银企无法获得理想状态的福利。

第二，当$\Delta ep+s-i<ce_1-ce_3, cr<\Delta cb$且$\Delta bp>\Delta cb-cr$时，假设$ce_1=8$，$ce_3=1$，$ce_2=10$，$ce_4=2$，$\Delta cb=5$，$\Delta bp=3$，$\Delta ep=4$，$cr=3$，$s=3$，$i=1$，$x=0.8$，$y=0.9$，则如图二(b)所示。随着演化步长的增加，商业银行起初有施行信贷优惠的倾向，但小微企业没有使用数字人民币的倾向，这两种策略的概率最终都降为 0。当小微企业对数字人民币缺乏关注，数字人民币使用意识淡薄，或因经营风险过大难以对央行公开交易事项时，即使商业银行施行信贷优惠能获得超额收益，使其初期有较大概率施行信贷优惠，但由于没有小微企业的支持、配合，最终会导致商业银行风险累积，考虑到商业银行固有的对保守利率的偏好，风险收益不相匹配促使其放弃施行信贷优惠策略。

第三，$ce_1-ce_3<\Delta ep+s-i<ce_2-ce_4, cr<\Delta cb$且$\Delta bp<\Delta cb-cr$时，假设$ce_1=7$，$ce_3=2$，$ce_2=10$，$ce_4=1$，$\Delta cb=8$，$\Delta bp=0.5$，$\Delta ep=4$，$cr=7$，$s=3$，$i=1$，$x=0.7$，$y=0.8$，则如图一(c)所示。随着演化步长的增加，小微企业使用数字人民币的概率先上升再下降，商业银行优惠信贷的概率一直下降，最终都降为 0。尽管小微企业和央行对数字化人民币给予一定重视，小微企业也有一定使用偏好，但如果奖励不足，则商业银行保持保守利率，即选择法律规定下对小微企业的最高利率，这将导致双方无法形成信贷关系，因此小微企业也将不使用数字人民币。由此可知，央行宏观调控和商业银行施行信贷优惠后的盈利能力也是数字人民币发展的主要推动力。

(二) (0,1)均衡状况分析

当$\Delta ep+s-i<ce_1-ce_3, cr>\Delta cb$且$\Delta bp>\Delta cb-cr$时，假设$ce_1=9$，$ce_3=2$，$ce_2=10$，$ce_4=2$，$\Delta cb=5$，$\Delta bp=3$，$\Delta ep=4$，$cr=6$，$s=3$，$i=1$，$x=0.7$，$y=0.8$，此时(0, 1)为 ESS，即小微企业选择不使用数字人民币，商业银行施行信贷优惠策略。从图 2 可以看出，随着演化步长的增加，商业银行施行优惠信贷的概率上升到 1，而小微企业使用数字人民币概率下降到 0。这是由于小微企业对数字人民币的理解不够深入，受到转移成本、路径依赖等影响，使用数字人民币意识不强。即使央行发行数字人民币补贴，小微企业仍然沿用过去的经营交易模式，反对数字人民币发展。虽然由于央行施行定向降准等奖励高于额外成本，商业银行即使没有获得超额收益但有利可图而继续施行信贷优惠策略，但数字人民币政策依然无法贯彻落实。

(三) (1,0)均衡状况分析

当$\Delta ep+s-i>ce_2-ce_4, cr<\Delta cb$且$\Delta bp<\Delta cb-cr$时，$ce_1=7$，$ce_3=2$，$ce_2=8$，

$ce_4 = 2$，$\Delta cb = 5$，$\Delta bp = 1$，$\Delta ep = 7$，$cr = 3$，$s = 3$，$i = 1$，$x = 0.7$，$y = 0.8$，此时(1, 0)为 ESS，即小微企业选择使用数字人民币，商业银行不施行信贷优惠策略。从图 3 可以看出，随着演化步长的增加，商业银行施行优惠信贷概率下降到 0，而小微企业使用数字人民币概率上升到 1。此种情形下，小微企业足够重视数字人民币，数字人民币以安全性、便捷性、普惠性提高其效益，同时央行施行补贴政策刺激小微企业主动使用，但商业银行施行信贷优惠策略却始终无法实现额外收益，考虑到菜单成本和黏性价格，尽管小微企业偏好数字人民币，但黏性利率会再次使商业银行陷入逆向选择陷阱。

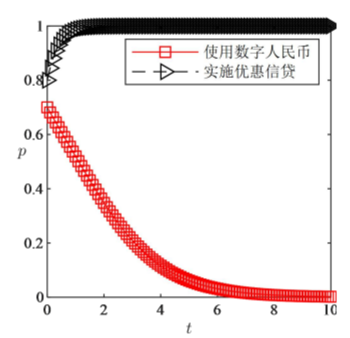


图 2 均衡点为(0,1)时仿真情况

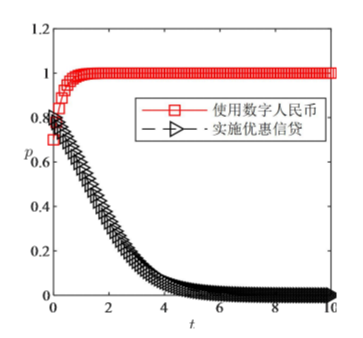


图 3 均衡点为(1,0)时仿真情况

(四) (1,1)均衡状况分析

在(1,1)均衡点处，共有三种情形,如图 4 所示，此时(1,1)为 ESS，选择使用数字人民币和施行信贷优惠策略成为小微企业与商业银行的主导选择。

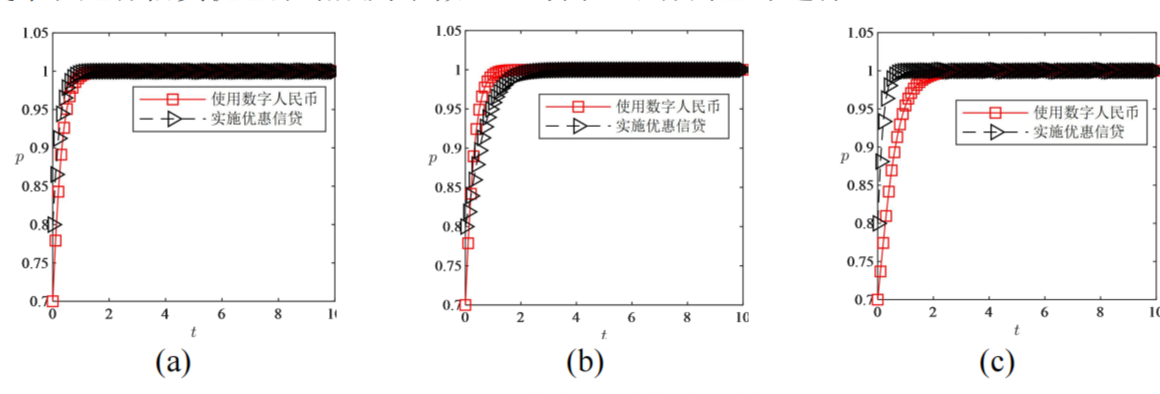


图 4 (1,1)时演化博弈仿真情况

第一，当$\Delta ep + s - i > ce_2 - ce_4, cr > \Delta cb$且$\Delta bp > \Delta cb - cr$时，假设 $ce_1 = 7, ce_3 = 2$，$ce_2 = 8$，$ce_4 = 2$，$\Delta cb = 5$，$\Delta bp = 3$，$\Delta ep = 7$，$cr = 9$，$s = 3$，$i = 1$，$x = 0.7$，$y = 0.8$，则银企演化趋势如图四(a)所示。随着演化步长的增加，使用数字人民币和施行优惠信贷的概率随时间推移一直下上升，最终都升为 1。此时，小微企业有较强的数字人民币意识，商业银行有较强的社会责任感，在央行补贴激励下，小微企业愿意舍弃银行活期存款利息，商业银行在央行合理的激励下获得额外收益，此时双方的收益大于成本，打破了路径依赖，以工具创新达到小微企业和商业银行正向激励循环的理想状态。

第二，当$\Delta ep + s - i > ce_2 - ce_4, cr < \Delta cb$且$\Delta bp > \Delta cb - cr$时，假设$ce_1 = 7, ce_3 = 2$，$ce_2 = 8$，$ce_4 = 2$，$\Delta cb = 10$，$\Delta bp = 3$，$\Delta ep = 7$，$cr = 9$，$s = 3$，$i = 1$，$x = 0.7$，$y = 0.8$，则如图四(b)所示。随着演化步长的增加，使用数字人民币和施行优惠信贷的概率随着时间的推移一直下上升，最终都升为 1。尽管央行激励有限，使得施行信贷优

惠策略政策收益低于额外成本，但只要小微企业对数字人民币的发展进程给予足够的关注，在央行的补助下愿意损失一定的活期收益转而投入到数字人民币交易中，此时商业银行可以获得一定收益，市场会向数字化和低利率的理想状态发展，银企双方都能受益。

第三，当$ce_1 - ce_3 < \Delta ep + s - i < ce_2 - ce_4, cr > \Delta cb$且$\Delta bp > \Delta cb - cr$时，假设$ce_1 = 7$，$ce_3 = 2$，$ce_2 = 10$，$ce_4 = 2$，$\Delta cb = 5$，$\Delta bp = 3$，$\Delta ep = 5$，$cr = 9$，$s = 3$，$i = 1$，$x = 0.7$，$y = 0.8$，则如图四(c)所示。随着演化步长的增加，使用数字人民币和施行优惠信贷的概率随时间推移一直上升，最终都升为 1。尽管小微企业和央行对数字化人民币给予一定重视，小微企业也有一定使用偏好，但当商业银行信贷优惠奖励不足时，小微企业不主动选择使用数字人民币，而商业银行在央行奖励下施行信贷优惠的政策收益更高，施行信贷优惠成为其必然选择，从而降低利率让小微企业接受，促进小微企业选择使用数字人民币，达到使用数字人民币和施行信贷优惠协同一致的理想状态。

(五)　(0,0)或(1,1)均衡状况分析

当$ce_1 - ce_3 < \Delta ep + s - i < ce_2 - ce_4, cr < \Delta cb$且$\Delta bp > \Delta cb - cr$时，假设$ce_1 = 8$，$ce_3 = 2$，$ce_2 = 10$，$ce_4 = 1$，$\Delta cb = 8$，$\Delta bp = 2$，$\Delta ep = 5$，$cr = 7$，$s = 3$，$i = 1$，$x = 0.7$，$y = 0.8$，此时均衡点为(0, 0)或(1, 1)。

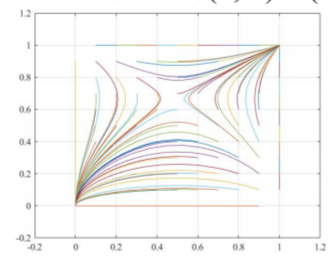


图 5　均衡点为(1,1)或(0,0)时博弈趋势

图 6　均衡点为(1,1)或(0,0)时博弈相位

如演化博弈趋势图和相位图所示，最终均衡点取决于四边形 DBOA 和 DBCA 的面积，前者面积为S_1，后者面积为S_2，当$S_2 > S_1$时，系统收敛于(1, 1)的概率更大，即小微企业使用数字人民币，同时商业银行施行信贷优惠策略。

$$S_2 = 1 - \frac{1}{2}\left(\frac{\Delta ep - ce_2 + s + ce_4 - i}{ce_1 - ce_2 - ce_3 + ce_4} + \frac{\Delta cb - cr}{\Delta bp}\right) \tag{10}$$

由(10)可知，$ce_1 - ce_3$、$ce_2 - ce_4$、Δep、s、i、Δcb、Δbp、cr都影响S_2的大小，呈单调递增或递减关系。当$ce_1 - ce_3$、$ce_2 - ce_4$、i、Δcb减小，或Δep、s、Δbp、cr增大时，S_2的面积增大，演化策略向“小微企业使用数字人民币，商业银行施行优惠信贷”方向发展。通过对面积公式的分析可知，对于小微企业而言，当央行的数字人民币补贴足以覆盖使用数字人民币的转移成本和活期存款利息，使用数字人民币的额外收入越大，数字人民币的使用意愿就越强，选择数字人民币的概率就越大；而对于商业银行来说，央行定向降准等激励措施足以覆盖因优惠信贷带来的收益降低，促成信贷关系后小微企业数字人民币的使用使商业银行的超额收益越多，则实施信贷优惠的概率也越大。

五、结论和建议

普惠金融背景下，本文聚焦小微企业，研究数字人民币破解小微企业信贷难题的机

制。通过构建小微企业和商业银行的演化博弈模型，系统揭示双方基于使用数字人民币和施行优惠信贷的稳定性。研究发现，数字人民币增量收入和央行补贴能激发小微企业数字人民币使用意识，帮助商业银行减少坏账风险；商业银行在央行政策激励下施行信贷优惠，助力小微企业融资发展。银企双方都获得超额收益，实现数字人民币和优惠信贷策略稳定均衡的协同发展，兼顾效益、安全。

通过推解演化博弈微分方程和分析不同点稳定条件，基于仿真结果，研究认为提高数字人民币使用意识是系统良性演化的关键。研究建议，第一，央行在数字人民币宣传上担起责任，培育社会数字人民币交易意识，构建监管体系。一方面，普及数字人民币交易常识，提高小微企业认知水平，改善数字人民币使用；另一方面，完善激励规则，以降低再贴现率等手段降低商业银行为小微企业提供资金的成本，推动实施优惠信贷。有关部门对使用数字人民币的小微企业提供补贴，弥补利息损失，及时披露商业银行信贷优惠信息，刺激融资。第二，商业银行积极配合央行销售数字人民币，营造使用氛围，发放以数字人民币为主的新形式贷款，以合理定价缓解小微企业融资难问题。一方面，商业银行降低贷款利率、延长贷款期限、增加贷款效率，提升小微企业数字人民币贷款体验；另一方面，商业银行结合实践经验，对央行提供建议，加强数字人民币产品研发和创新。第三，学界进一步深化对数字人民币的理论研究，助力央行和商行的实践。

参考文献

[1] Bech, ML, R Garratt. Central Bank Cryptocurrencies[R]. BIS Quarterly Review, September 2017.

[2] Committee on Payments and Market Infrastructures, BIS. Central Bank Digital Currencies[M]. CPMI, Markets Committee Paper No. 174, March 2018.

[3] Keynes, JM. The General Theory of Employment, Interest and Money[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1936.

[4] Mankiw, NG, D Romer. New Keynesian Economics[M]. Cambridge: MIT Press, 1991.

[5] Sanches, D, T Keister. Should Central Banks Issue Digital Currency[R]. FRB, Philadelphia Working Paper, November 2021.

[6] 巴曙松,白海峰.金融科技的发展历程与核心技术应用场景探索[J].清华金融评论,2016(11):99-103.

[7] 巴曙松,陈绍光.央行数字货币:概念、路径及应用[J].清华金融评论,2021(03):26-27.

[8] 巴曙松,姚舜达.央行数字货币体系构建对金融系统的影响[J].金融论坛,2021,26(04):3-10.

[9] 巴曙松,张岱晁,朱元倩.全球数字货币的发展现状和趋势[J].金融发展研究,2020(11):3-9.

[10] 巴曙松.大数据可解小微企业融资瓶颈[J].中国经济报告,2013(06):29-31.

[11] 巴曙松.关于解决当前小微经营者融资难问题的政策建议[J].人民论坛.学术前沿,2020(12):22-30.

[12] 保建云.主权数字货币、金融科技创新与国际货币体系改革——兼论数字人民币发行、流通及国际化[J].人民论坛.学术前沿,2020(02):24-35.

[13] 陈彪,罗鹏飞,杨金强.银税互动、融资约束与小微企业投融资[J].经济研究,2021,56(12):77-93.

[14] 党印,汪洋,吴国鼎.货币的资产负债属性、铸币税与数字货币的未来[J].武汉金融,2021(12):3-11.

[15] 方显仓,黄思宇.数字货币与中国货币政策转型[J].学术论坛,2020,43(02):91-101.

[16] 冯晓菲,张琳.自然人保证担保是否降低了小微企业融资成本与违约风险[J].世界经济,2020,43(07):170-192.

[17] 管弋铭,伍旭川.数字货币发展:典型特征、演化路径与监管导向[J].金融经济学研究,2020,35(03):130-145.

[18] 顾宁,吴懋,赵勋悦.数字普惠金融对小微企业全要素生产率的影响——“锦上添花”还是“雪中送炭”[J].南京社会科学,2021(12):35-47.

[19] 何德旭,冯明.新中国货币政策框架 70 年:变迁与转型[J].财贸经济,2019,40(09):5-20.

[20] 何德旭,苗文龙.数字货币的经济学解读及我国发展策略[J].经济纵横,2020(06):18-25.

[21] 何德旭,姚博.人民币数字货币法定化的实践、影响及对策建议[J].金融评论,2019,11(05):38-50.

[22] 胡秋灵,张成虎.有关电子货币的若干争论[J].国际金融研究,2003(12):65-68.

[23] 焦瑾璞,孙天琦,黄亭亭,汪天都.数字货币与普惠金融发展——理论框架、国际实践与监管体系[J].金融监管研究,2015(07):19-35.

[24] 孔东民,李海洋,杨薇.定向降准、贷款可得性与小微企业商业信用——基于断点回归的经验证据[J].金融研究,2021(03):77-94.

[25] 李华民,吴非.谁在为小微企业融资:一个经济解释[J].财贸经济,2015(05):48-58.

[26] 李敏.融资领域区块链数字资产属性争议及监管:美国经验与启示[J].现代法学,2020(2):133-144.

[27] 刘东民,宋爽.数字货币、跨境支付与国际货币体系变革[J].金融论坛,2020,25(11):3-10.

[28] 刘凯,郭明旭.央行数字货币的发行动机、设计方案及其对中国的启示[J].国际经济评论,2021(03):

137-154.
[29] 刘凯,李育,郭明旭.主要经济体央行数字货币的研发进展及其对经济系统的影响研究:一个文献综述[J].国际金融研究,2021(06):13-22.
[30] 刘满凤,赵珑.互联网金融视角下小微企业融资约束问题的破解[J].管理评论,2019,31(03):39-49.
[31] 潘越,潘健平.代币发行融资研究——基于企业生存时间的视角[J].金融研究,2020(06):133-151.
[32] 裴长洪,刘斌.中国开放型经济学:构建阐释中国开放成就的经济理论[J].中国社会科学,2020(02):46-69.
[33] 彭绪庶.央行数字货币的双重影响与数字人民币发行策略[J].经济纵横,2020(12):77-85.
[34] 戚聿东,褚席.数字经济视阈下法定数字货币的经济效益与风险防范[J].改革,2019(11):52-62.
[35] 宋爽,刘东民.央行数字货币的全球竞争:驱动因素、利弊权衡与发展趋势[J].经济社会体制比较,2021(02):1-11.
[36] 唐松,伍旭川,祝佳.数字金融与企业技术创新——结构特征、机制识别与金融监管下的效应差异[J].管理世界,2020,36(05):52-66.
[37] 王伟同,李秀华,陆毅.减税激励与企业债务负担——来自小微企业所得税减半征收政策的证据[J].经济研究,2020,55(08):105-120.
[38] 王馨.互联网金融助解“长尾”小微企业融资难问题研究[J].金融研究,2015(09):128-139.
[39] 吴晓求.“十四五”时期中国金融改革发展监管研究[J].管理世界,2020,36(07):5-15.
[40] 杨延超.论数字货币的法律属性[J].中国社会科学,2020(01):84-106.
[41] 姚前,汤莹玮.关于央行法定数字货币的若干思考[J].金融研究,2017(07):78-85.
[42] 姚前.数字货币的前世与今生[J].中国法律评论,2018(06):169-176.
[43] 姚前.法定数字货币的经济效应分析:理论与实证[J].国际金融研究,2019(01):16-27.
[44] 姚前.区块链与央行数字货币[J].清华金融评论,2020(03):65-69.
[45] 姚前.关于全球央行数字货币实验的若干认识与思考[J].清华金融评论,2021(03):16-19.
[46] 易纲.提升数字人民币普惠性和可得性[N].联合时报,2021-11-30(006).
[47] 袁曾.元宇宙空间铸币权论[J].东方法学,2022(02):31-43.
[48] 张成虎.互联网金融创新与金融监管的动态演化博弈[J].贵州社会科学,2020(01):151-159.
[49] 赵兰坪,赵守愚.货币学[J].清华大学学报,1936(03):889-893.
[50] 周陈曦,曹军新.数字货币的历史逻辑与国家货币发行权的掌控——基于央行货币发行职能的视角[J].经济社会体制比较,2017(01):104-110.
[51] 周光友,罗素梅,连舒婷.金融科技创新、网贷利率决定与小微企业融资——兼论“麦克米伦缺口”的治理[J].国际金融研究,2020(03):76-86.
[52] 周晓寒.论纸币[J].中国社会科学,1988(04):45-56.